以即時動態定位技術提升作物管理與農機運作效率之應用

張翊庭、賴俊融、楊心如、郭鴻裕、劉滄棽
農業部農業試驗所農業化學組

摘要

本研究探討即時動態定位 (real-time kinematic, RTK) 技術在農業中的應用，旨在提升作物管理的精度以及農機操作效率。RTK 技術是一種基於衛星導航系統的高精度定位方法，能提供公分級的精度，大幅提高農業作業的準確性和自動化程度。透過這項技術，農業經營者可實現包括作物精準施肥、除草、灌溉，以及無人農機導航等多項功能，從而降低人力投入與操作誤差，提升農業生產的整體效能。為驗證 RTK 技術的實際應用效果，本研究以即時動態定位技術 (RTK) 為基礎，探討其在精準農業中提升作物管理及農機運作效率的應用潛力。研究涵蓋兩大主題：(1) 利用密度分群演算法 (density-based spatial clustering of applications with noise, DBSCAN) 處理農機軌跡數據，以準確區分作業農地範圍並有效去除雜訊數據；(2) 結合光達技術進行果樹參數測量與產量估算。研究結果顯示，RTK 定位系統提供高精度的公分級定位，結合 DBSCAN 技術能顯著提升農地區域劃分準確性；而光達數據與深度學習模型的應用，可成功估算出香蕉與鳳梨釋迦的產量，並精確分類其採收期與生長期。本研究提供即時動態定位與光達技術的結合在精準農業中的應用範例，為提升農業生產效率及資源管理提供技術基礎。

關鍵詞：即時動態定位、密度分群演算法、精準農業

一、緒論

精準農業是基於觀察和準確因應田間變化的農業管理概念，其目標是透過較少資源和降低生產成本的情況下，提高糧食生產之效率。而全球導航衛星系統 (global navigation satellite system, GNSS) 是精準農業的重要關鍵，因為取得位置資訊是實現區域化作物管理的必要條件 (Lan et al., 2019)。即時動態定位 (RTK) 技術是利用衛星進行即時高精度定位技術，其運作原理是同時在參考站與移動站接收來自衛星的信號，並透過通訊設備將參考站的觀測數據傳送至移動站。移動站利用這些數據進行差分計算，相關應用設備可在移動過程中即時獲得精確的定位坐標 (Leick, 2015)。透過農業試驗所於全台架設 35 個 RTK 基準站 (平地 18 站、高山 17 站)，提供涵蓋全台本島農業 RTK 精密定位服務，提供農民於農田及坡地進行噴藥施肥、水田整平等農業相關應用。本研究將介紹應用 RTK 精密定位服務來進行資料蒐集及結合光達應用於果樹產量推估之成果。

二、材料與方法

2.1 農機軌跡資訊蒐集及數據處理

本所採用 GNSMART (GNSS state monitoring and representation technique) 是由德國 Geo++公司開發的軟體系統，專為全球導航衛星系統 (GNSS) 的網路即時動態 (network RTK) 應用而設計。其主要功能是處理來自多個參考站的數據，生成高精度的 GNSS 校正資訊，並將其提供給使用者使用。因農機當天通常需要作業多塊田地，而每塊田地分布在不同區域，雖操作者可通過視覺觀察了解作業區域。然而，在數據處理方面，則需要提供數值推算，以區分各個作業區域。一般而言，會使用集群分析將數據分群，本研究使用密度分群演算法 (density- based spatial clustering of applications with noise, DBSCAN) 分群演算法進行分群 (Ester et al., 1996)，主要參數有ε (epsilon) 與$minPts$，當某點的ε-鄰域內點數達到$minPts$時，該點標記為核心點 (紅色點) 同屬一群。核心點的ε-鄰域可以將其他核心點和非核心點 (黃色點) 通過密度連接起來，則為非核心點 (點 B 與點 C)；而未被任何ε-鄰域覆蓋或未達到 $minPts$ 的點 (藍色點) 則被視為離群值 (outlier) (Chire, 2011)。

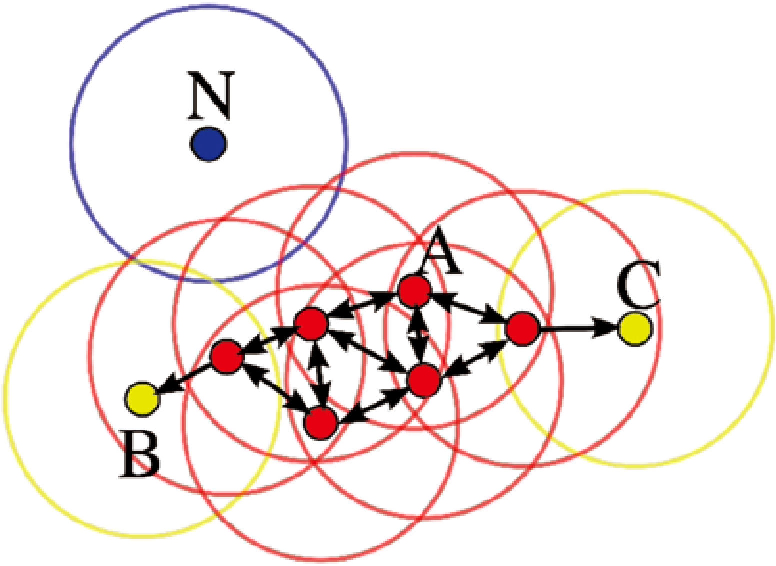

圖 1. DBSCAN 分群演算法核心概念圖

2.2 農機軌跡資訊蒐集

本研究所採用的軌跡紀錄設備為本所研發之 RTK on Board 裝置，該裝置可安裝於各類農業機械上。其核心採用 TI 32 位元 Tiva™ C 系列 ARM Cortex™ 處理器，具備低功耗設計，內建 4G LTE 上網功能，可接收 GNSS 訊號以進行 RTK 和 PPP-RTK 高精度定位；內置 MicroSD 儲存裝置，最大支援 2TB 儲存容量；兼容多種標準格式，包括 NTIRP、RTCM、SPARTN 和 CLAS；並支持 FTP 檔案上傳功能。此裝置還具備多樣化的通訊協定支持，如 TCP、UDP、MQTT、CAN 和 UART，提供農業機械定位和數據傳輸高效率之服務。

2.3 動態定位技術(RTK)應用於光達果樹測量

本研究利用光達技術進行果樹位置、數量、樹高、體積及葉面積密度的估算，以提升數據準確性並減少現地調查人力需求。果樹位置與數量的測量採用模板匹配 (template matching) 方法，通過挑選數個光達掃描的果樹數據建立三維模板 (template)，在光達數據中尋找與模板高度相關的座標，作為果樹的位置，期望以此取代傳統現地測量方式。樹高的計算利用光達雷射光接觸果樹表面與地表的特性，生成冠層高度模型 (canopy height model, CHM)，進而推估果樹樹高，並獲取高精度的樹高數據。在體積估算方面，本研究使用區域成長分割法 region growing segmentation)，以果樹中心點為基準向外擴展，分割果樹範圍，完成範圍分割後，單株光達數據即可轉換為果樹體積，提升體積估算的準確性。此外，葉面積密度 (leaf area density, LAD) 的計算基於光達技術中雷射光路徑與葉片接觸的特性，統計單一立方體 (Voxel) 內雷射光通過次數與接觸葉片比例，計算葉面積密度，並結合前人研究的葉量轉換常數，將其換算為葉量，有效解決傳統果樹葉量測量的現況。

三、結果與討論

3.1 定位服務與精度

RTK 技術能在不同農業場景中提供穩定的公分級定位，這為精準施肥、播種和灌溉等作業提供了穩定的技術支持 (Bisnath, 2020)。本計畫經財團法人全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation, TAF) 認證實驗室校正結果水平為 ±1.5 公分，垂直為 ±1.1 公分，彙整如表 1 所示，其中下表單位為 (mm)。本研究開發農機軌跡管理平台系統，以提供精密定位服務及即時監控功能。該系統支持現場人員掌控即時資訊，同時協助所內人員同步監控農機現地作業狀況。系統設計具備多機同步監控能力，可同時監看多部農機的即時作業情況，確保作業進程的有效掌握與協調。此系統為提升農業生產效率及數據管理提供了穩定且精準的技術支持 (圖 2)。

3.2 農機軌跡資訊成果

本研究採用密度分群演算法 (DBSCAN) 進行分析，結合農地作業的時間間隔特性，以提高農地判定的準確性。透過歷史軌跡數據的案例實作 (如圖 3 所示)，試驗結果顯示，該方法能有效去除道路上的無效軌跡點。然而，由於部分作業農地的坵塊位置相近，可能導致聚類結果出現誤判，將鄰近的坵塊視為同一農地。為解決此問題，本研究在分析過程中增加了農地作業結束時間的參數，以便更精確地區分不同坵塊的作業範圍與邊界。透過監控平台提供現場人員即時資訊掌控功能，並支援研究人員同步監控農機現地作業狀況。可同時監看多部農機即時作業，如 113 年 11 月 8 日協助監控台東三部水稻收割機之水稻搶收作業，及同步監控西部 1 台水稻收割機現地產量取樣調查作業，掌握現地資料收集作業情況與速度，有效提升資料處理與分析效率，加速全國水稻產量估測作業流程 (圖 4)。

3.3 光達果樹測量成果

本研究利用 RTK 無人機光達及背包式光達進行高密度的點雲資料測量 (高於 200pts/m^2)，獲得香蕉與鳳梨釋迦的位置、樹高、樹冠幅體積和穿透率等參數，並藉

此推估果樹產量，在測量果樹參數方面，位置是最重要的因子，當獲得果樹位置後即可以推算樹高，體積和穿透率， 光達掃描的香蕉樣區位於屏東縣內埔鄉，將空拍照片與光達樹高融合成四波段的影像資料 (R, G, B, CHM)，目的為分類香蕉的採收期與生長期，再以深度學習 (Mask R-CNN) 模型偵測香蕉位置，精確度達 85%，產量推估方面，利用多元線性回歸模型，配合交叉驗證 (CV, crossvalidation)，估算單株香蕉誤差為 24.39 ± 3.01 kg，推估 3 公頃面積的總產量為 127.48 公噸；鳳梨釋迦的光達掃描的樣區位於台東縣台東市，其利用模板匹配法 (template matching) 偵測果樹位置 (用於樹頂不明顯的果樹)，偵測果樹位置整體精確度為 99%，產量推估鳳梨釋迦單株的誤差為 44.56 ± 2.22 kg，推估 4.25 公頃面積的總產量為 86.7 公噸， 因此光達技術能有效分類香蕉與鳳梨釋迦的產期，並且估算其產量。

表 1. 定位結果

序號	ΔX	ΔY	ΔZ	水平
1	-10	-9	10	13
2	-7	-10	10	12
3	10	-10	-9	14
4	-9	10	10	13
5	10	-11	-9	15
6	9	10	11	13
7	8	9	10	12
8	-8	9	-10	12
9	-8	8	-8	11
10	-6	9	11	11
11	10	9	10	13
12	-3	-10	-9	10
13	8	-10	10	13
14	-9	-10	10	13
15	10	9	-10	13
16	6	-9	10	11
17	7	-9	-9	11
18	10	9	-10	13
19	-8	8	11	11
20	-9	-10	-11	13

*本表格整理自 TAF 認證報告

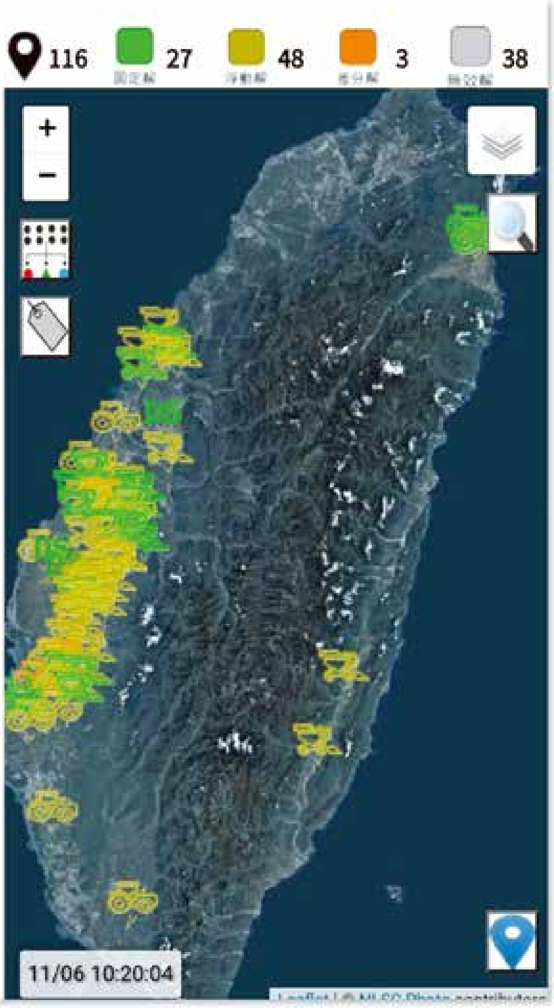

圖 2. 及時監控精密定位服務視窗

圖 3. 經 DBSCAN 分群演算法處理後之軌跡圖

圖 4. 東部水稻收割分布圖

四、結論

本研究結合即時動態定位 (RTK) 與光達技術，作為應用於提升精準農業的管理效率的案例分析。由認證實驗室之校正報告可知 RTK 技術提供水平精度±1.5 公分、垂直±1.1 公分的高精度定位，支持農田作業的即時監控與數據管理，有效提升農業活動的準確性與效率。同時，利用密度分群演算法 (DBSCAN) 處理農機軌跡數據，成功去除道路上的無效軌跡點，並透過時間間隔參數優化農地作業範圍的判定，解決因農地坵塊相鄰導致的誤判問題。光達技術進一步精確測量果樹位置、樹高、體積及葉面積密度，並結合多元線性回歸與深度學習模型，估算香蕉與鳳梨釋迦的產量，且能有效分類果樹的採收期與生長期。整體而言，RTK 與光達技術的結合顯著提升了農業生產效率、減少人力成本，並為農業數據管理與生產估測提供穩定之技術基礎。未來可進一步改善此結合模式，推動在更多作物管理與資源分配領域的應用，實現精準農業目標。隨著農業進入智慧化與數據化的新紀元，RTK (即時動態定位) 技術的應用，為農業機械賦予高精度作業能力，顯著提升農業生產效率與品質。在智慧農機市場快速發展的驅動下，不僅限於大型農業機械，針對不同生產環境的需求，也逐步推出多樣化的小型輕便農機解決方案。未來，透過高精準定位技術與多元感測器的整合應用，將能精確識別每塊田區的栽培現況，提供農民以數據為基礎的精準田間管理支持，提升農業資源配置，實現最佳化生產效益。此發展不僅推動農業向精準化、高效化及智慧化邁進，更為全球糧食安全及永續發展注入新的活力。

誌謝

誌謝本研究承蒙農業部「113 農科-11.1.1-農-01 整合智農技術建立果樹精準農耕(2/4)」與農業部農糧署「113 農再-2.4.1-1.1-糧-033 提高省工農業機械精密定位示範計畫」經費支持得以順利完成。

參考文獻

1. Lan, H., Elsheikh, M., Abdelfatah, W., Wahdan, A., & El-Sheimy, N. (2019, September 16-20). Integrated RTK/INS navigation for precision agriculture. 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2019) Miami, Florida, USA.
2. Bisnath, S. (2020). Relative Positioning and Real-Time Kinematic (RTK). Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications, 1, 481-502.
3. Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J., & Xu, X. (1996, August). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In kdd (Vol. 96, No. 34, pp. 226-231).
4. Chire,"DBSCAN-Illustration,"[Online].Available: https://zh.wikipedia.org/wiki/File:DBSCAN- Illustration.svg.
5. Leick, A. (2015). GPS satellite surveying. Wiley. (pp. 401-474). Real-Time Kinematics Relative Positioning.

The Application of Real-Time Kinematic Positioning Technology to Enhance Crop Management and Agricultural Machinery Efficiency

Yi-Ting Zhang*[1], Chun-Jung Lai[2], Hsin-Ju Yang[3], Horng-Yuh Guo[4], Tsang-Sen Liu[5]

[1] Associate Researcher, Taiwan Agricultural Research Institute, MOA.
[2,3] Research Assistant, Taiwan Agricultural Research Institute, MOA.
[4] Researcher, Taiwan Agricultural Research Institute, MOA.
[5] Researcher and Director, Taiwan Agricultural Research Institute, MOA.

ABSTRACT

This study explores the application of real-time kinematic, RTK (RTK) positioning technology in agriculture, aiming to enhance the precision of crop management and the operational efficiency of agricultural machinery. RTK technology, a high-precision positioning method based on satellite navigation systems, provides centimeter-level accuracy, significantly improving the accuracy and automation of agricultural operations. With this technology, agricultural operators can achieve various functions, including precision fertilization, weeding, irrigation, and autonomous machinery navigation, thereby reducing labor input and operational errors while enhancing overall agricultural productivity. To verify the practical applications of RTK technology, this study focuses on its potential to improve crop management and agricultural machinery efficiency in precision agriculture. The research encompasses two main themes: (1) using the density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) algorithm to process agricultural machinery trajectory data, accurately delineate farmland boundaries, and effectively eliminate noise; and (2) integrating LiDAR technology to measure fruit tree parameters and estimate yields. The results demonstrate that the RTK positioning system provides high-precision centimeter-level accuracy, and when combined with the DBSCAN algorithm, it significantly enhances the accuracy of farmland boundary delineation. Furthermore, the integration of LiDAR data and deep learning models successfully estimates the yields of bananas and sugar apples while precisely categorizing their harvesting and growth periods. This study offers a practical example of the integration of RTK and LiDAR technologies in precision agriculture, providing a robust technical foundation for improving agricultural productivity and resource management.

Keywords: Real-Time Kinematic positioning, DBSCAN, precision agriculture